

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –
MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL

ANA PAULA MÜLLER

POTENCIAL DE DESCOLORAÇÃO E BIODEGRADAÇÃO DE CORANTES
AZOICOS ALIMENTÍCIOS POR CÉLULAS DE *Bacillus* sp. ES-1
IMOBILIZADAS EM ALGINATO DE SÓDIO

Santa Cruz do Sul

2022

Ana Paula Müller

**POTENCIAL DE DESCOLORAÇÃO E BIODEGRADAÇÃO DE CORANTES
AZOICOS ALIMENTÍCIOS POR CÉLULAS DE *Bacillus* sp. ES-1
IMOBILIZADAS EM ALGINATO DE SÓDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para o título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientador ^(a): Prof.^(a) Dr ^(a). Lisianne Brittes Benitez

Santa Cruz do Sul

2022

RESUMO

Os corantes são amplamente utilizados em muitas indústrias, como a de alimentos, a têxtil, de produção de papel e celulose e de cosméticos. Com o crescimento acelerado da população mundial a produção de alimentos industrializados é contínua e acaba por gerar grande volume de efluentes que podem causar grave poluição se liberados para o ambiente sem tratamento adequado. Na indústria de alimentos, os corantes azoicos são comumente utilizados e podem permanecer em águas residuais. Para biodegradar esses corantes de águas residuais podem-se utilizar a biorremediação por microrganismos, uma vez que é considerada uma tecnologia de remediação muito vantajosa para recuperar ecossistemas quando comparada a outras tecnologias. Nesse sentido, as bactérias funcionam como agentes biológicos eficientes e baratos para biodegradar esses compostos. Este estudo teve como objetivos realizar um mapeamento bibliométrico sobre a biorremediação de corantes azoicos por células microbianas imobilizadas nas bases de dados *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct* e avaliar o potencial de células bacterianas livres e imobilizadas em alginato de sódio na degradação dos corantes azoicos amaranato e tartrazina. Os microrganismos foram isolados de uma amostra de efluente de uma indústria de bebidas localizada na região do Vale do Rio Pardo, no Rio Grande do Sul. Para a triagem de bactérias o efluente foi acrescido a um meio nutritivo acrescido de tartrazina a 200 mg L^{-1} que foi incubado em condições estáticas e sob agitação a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ por 96 h. A partir dos meios onde foi observada a descoloração da tartrazina foi feito o isolamento das bactérias presentes. Foram isoladas em cultura pura 8 bactérias cujas colônias apresentaram características morfológicas distintas. A bactéria identificada como *Bacillus sp.* ES-1 e o corante amaranato, que mostrou descoloração em menor tempo, foram selecionados para os estudos de degradação com células do microrganismo livres e imobilizadas em alginato de sódio. Nas 156 h de cultivo, as células imobilizadas do microrganismo apresentaram uma taxa de descoloração de 86% em 150 h enquanto as células livres tiveram uma eficiência de 81% em 144 h. A presença de fenol e indol nas análises por GC-MS indicaram a biodegradação parcial do corante. Nas análises por FTIR foram observadas elevações na banda amida para ambos os tratamentos indicando a biorredução da ligação azo do corante e uma taxa de descoloração maior pelas células livres da bactéria. Concluiu-se que a bactéria *Bacillus sp.* ES-1 apresentou bom potencial de descoloração e que o uso de um processo híbrido (células livres + células imobilizadas) poderia ser uma abordagem eficaz, de baixo custo e ambientalmente amigável para a remoção do corante do efluente industrial.

Palavras-chave: Corantes azoicos. Amaranato. Tartrazina. *Bacillus sp.* ES-1. Imobilização.

ABSTRACT

Dyes are widely used in many industries, such as food, textile, pulp and paper production and cosmetics. With the accelerated growth of the world population the production of industrialized food is continuous and ends up generating large volume of effluents that can cause serious pollution if released to the environment without proper treatment. In the food industry, azo dyes are commonly used and can remain in wastewater. To biodegrade these wastewater dyes can be used bioremediation by microorganisms, since it is considered a very advantageous remediation technology to recover ecosystems when compared to other technologies. In this sense, bacteria function as efficient and inexpensive biological agents to biodegrade these compounds. This study aimed to perform a bibliometric mapping on the bioremediation of azoic dyes by microbial cells immobilized in the *Scopus*, *Web of Science* and *Science Direct* and evaluate the potential of free and immobilized bacterial cells in sodium alginate in the degradation of azo dyes Amaranth and tartrazine. The microorganisms were isolated from a sample of effluent from a beverage industry located in the Rio Pardo Valley, Rio Grande do Sul. For the screening of bacteria the effluent was added to a nutrient medium plus tartrazine to 200 mg L⁻¹ that was incubated under static conditions and stirred at 35 °C for 96 h. From the media where the discoloration of tartrazine was observed, the bacteria present were isolated. Were isolated in pure culture 8 bacteria whose colonies showed distinct morphological characteristics. The bacterium identified as *Bacillus* sp. ES-1 and Amaranth dye, which showed discoloration in less time, were selected for degradation studies with free microorganism cells and immobilized in sodium alginate. At 156 h of culture, the immobilized cells of the microorganism showed a discoloration rate of 86% at 150 h while the free cells had an efficiency of 81% at 144 h. The presence of phenol and indole in the analyzes by GC-MS indicated the partial biodegradation of the dye. In the analysis by FTIR were observed elevations in the amide band for both treatments indicating the bioreduction of the azo bond of the dye and a higher rate of discoloration by the free cells of the bacterium. It was concluded that the bacterium *Bacillus* sp. ES-1 showed good potential for discoloration and that the use of a hybrid process (free cells + immobilized cells) could be an effective, low cost and environmentally friendly approach for the removal of dye from industrial effluent.

Keywords: Azoic dyes. Amaranth. Tartrazine. *Bacillus* sp. ES-1. Immobilization.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 METODOLOGIA.....	14
3.1 Delineamento da pesquisa	14
3.2 Desenvolvimento do artigo 1.....	14
3.2 Desenvolvimento do artigo 2.....	14
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
ARTIGO 1: BIORREMEDIAÇÃO DE CORANTES AZOICOS POR CÉLULAS BACTERIANAS IMOBILIZADAS	16
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
ARTIGO 2: BIORREMEDIAÇÃO DO CORANTE AZOICO ALIMENTÍCIO AMARANTO POR CÉLULAS DE <i>Bacillus</i> sp. ES-1 IMOBILIZADAS EM ALGINATO DE SÓDIO.....	34
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Devido ao rápido crescimento populacional e o desenvolvimento econômico, a propagação de uma série de contaminantes em águas superficiais e subterrâneas tornou-se um sério problema ambiental. Uma das principais classes de poluentes orgânicos de cursos d'água são os corantes sintéticos, que na maioria das vezes após sua utilização são descartados em corpos d'água sem nenhum tratamento prévio. Estes poluentes apresentam uma estrutura molecular complexa o que os torna mais estáveis e difíceis de ser biodegradados (BEKHIT; FARAG; ATTIA, 2020).

Os corantes sintéticos são utilizados em indústrias de vários setores como alimentos, impressão, cosméticos, papeis, couro, têxtil, farmacêutico, borracha, entre outros (DALLABONA et al., 2021).

Diversos fungos, algas, leveduras e bactérias são utilizados para o tratamento anaeróbio/aeróbio devido ao seu comportamento de biossorção e biodegradação tanto por biomassa microbiana viva como morta (AHMAD et al., 2021).

Uma abordagem ecologicamente correta e economicamente viável é a utilização de microrganismos na biodegradação de corantes industriais. Quando utilizados em forma de células livres, os processos microbianos podem ser lentos e limitados no tratamento de poluentes em escala industrial (AHMAD et al., 2021).

Os corantes azoicos são os mais produzidos e utilizados em todo mundo, devido à sua estabilidade, simplicidade e custo-benefício de sua síntese e a variedade de cores obtidas em comparação com os corantes naturais (SARATALE et al., 2009).

Quando estes corantes são liberados diretamente em corpos d'água sem tratamento, estes poluentes evitam que a luz solar penetre nas águas mais profundas, alterando assim a qualidade da água, a atividade fotossintética e a concentração de oxigênio dissolvido (OD), prejudicando a qualidade da água, diminuindo a solubilidade do oxigênio e conseqüentemente afetando tanto plantas como animais aquáticos, em todo o planeta (DE ALMEIDA et al., 2019; BEKHIT; FARAG; ATTIA, 2020; FARAG; BEKHIT; ATTIA, 2016). Outros impactos destes corantes estão relacionados a demanda química de oxigênio (DQO), sais dissolvidos e produtos químicos perigosos como metais pesados (BEKHIT; FARAG; ATTIA, 2020).

Há evidências que comprovam que certos compostos destes corantes e seus metabólitos apresentam características carcinogênicas e mutagênicas para humanos e outras formas de vida (DE ALMEIDA et al., 2019; BEKHIT; FARAG; ATTIA, 2020).

Uma variedade de tecnologias que inclui métodos físicos, químicos e biológicos são utilizados na remoção de corantes do ambiente. Métodos físicos como coagulação e adsorção utilizando diferentes adsorventes são usados para reduzir a carga de corantes em efluentes. Métodos químicos como fotocatalise e ozonização são rápidos e eficientes, porém podem produzir subprodutos mais tóxicos que o poluente em questão. (CHATURVEDI et al., 2021; BEKHIT; FARAG; ATTIA, 2020).

Os métodos biológicos tem sido amplamente utilizados, onde os processos microbiológicos apresentam impacto ambiental menor e custo menor de implantação, porém em alguns casos os subprodutos tóxicos dos corantes inibir o desenvolvimento da cultura biológica, por exemplo, na degradação anaeróbia ocorre a produção de amins aromáticas completas que podem ser tóxicas para os microrganismos (DE ALMEIDA et al., 2019; CHATURVEDI et al., 2021). Um dos métodos biológicos comumente utilizados é o aprisionamento celular, cuja técnica é a imobilização celular, que apresenta inúmeras vantagens como preparo de vários biocatalisadores de alto desempenho, evita a perda dos microrganismos nos sistemas de tratamento, quando comparados com outros, este apresenta alta densidade celular e estabilidade e tempo de reação prolongados (DE ALMEIDA et al., 2019; BEKHIT; FARAG; ATTIA, 2020).

A comunidade científica tem dedicado esforços para encontrar sistemas de tratamento eficazes com baixo custo e alta eficiência. A biodegradação/biorremediação vem sendo amplamente utilizada no tratamento dessas águas residuais, com o uso frequente de células bacterianas. O processo de imobilização celular é uma tecnologia que vem crescendo gradativamente na tentativa de aumentar a eficiência da biorremediação por microrganismos (DE ALMEIDA et al., 2019; BEKHIT; FARAG; ATTIA, 2020).

Nesse contexto, destaca-se a relevância de estudos que desenvolvam tecnologias que utilizam ferramentas biológicas em substituição a métodos químicos e físicos visando a degradação e remoção de contaminantes orgânicos, como os corantes azoicos, originados de diferentes atividades industriais e presentes em águas residuais. A utilização da biorremediação se constitui numa alternativa promissora por utilizar metodologias ambientalmente amigáveis, eficazes e que podem gerar menos custos para as indústrias.

REFERÊNCIAS

- ABATENH, E.; GIZAW, B.; TSEGAYE, Z.; WASSIE, M. The Role of Microorganisms in Bioremediation- A Review. *Open Journal of Environmental Biology*, v. 2, n. 1, p. 38-46, 2017.
- AHMAD, A.; SINGH, A. P.; KHAN, N.; CHOWDHARY, P.; GIRI, B. S.; VARJANI, S.; CHATURVEDI, P. Bio-composite of Fe-sludge biochar immobilized with *Bacillus* sp. in packed column for bio-adsorption of Methylene blue in a hybrid treatment system: Isotherm and kinetic evaluation. *Environmental Tecnology & Inovation Ambiental*, v. 23, p. 101734, 2021.
- AJAZ, M.; SHAKEEL, S.; REHMAN, A. Microbial use for azo dye degradation—a strategy for dye bioremediation. *International Microbiology*, v. 23, n. 2, p. 149-159, 2020.
- AL-FAWWAZ, A. T.; ABDULLAH, M. Decolorization of methylene blue and malachite green by immobilized *Desmodesmuss* sp. isolated from North Jordan. *International Journal of Environmental Science and Development*, v. 7, n. 2, p. 95, 2016.
- AL-RUBAIE, L. A.; MHESSN, R. J. Synthesis and Characterization of Azo Dye para-Red and New Derivatives. *Journal of Chemistry*, v. 9, n. 1, p. 465-47, 2012.
- ALULEMA-PULLUPAXI, P.; ESPINOZA-MONTERO, P. J.; PALLO, C. S.; VARGAS, R.; FERNÁNDEZ, L.; PERALTA-HERNÁNDEZ, J. M.; PAZ, J. L. Fundamentals and applications of photoelectrocatalysis as an efficient process to remove pollutants from water: A review. *Chemosphere*, p. 130821, 2021.
- AKSU Z., Ertugrul, S. & Donmez, G. Methylene blue biosorption by *Rhizopus arrhizus*: effect of SDS (sodium dodecyl sulphate) surfactant on biosorption properties. *Chemical Engineering Journal* v. 158, p. 474–481, 2010
- BHARDWAJ, D.; BHARADVAJA, N. Phycoremediation of effluents containing dyes and its prospects for value-added products: A review of opportunities. *Journal of Water Process Engineering*, v. 41, p. 102080, 2021.
- BEDEKAR, P. A; SARATALE, R. G.; SARATALE, G. D.; GOVINDWAR, S. P. Development of low cost upflow column bioreactor for degradation and detoxification of Blue HERD and textile effluent by *Lysinibacillus* sp. RGS immobilized on *Loofa*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 96, p. 112-120, 2014.
- BEKHIT, F.; FARAG, S.; ATTIA, A. M. Decolorization and degradation of the Azo dye by bacterial cells coated with magnetic iron oxide nanoparticles. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, v. 14, p. 100376, 2020.
- BENITEZ, L.; CORREA, A. P.; DAROIT, D.; BRANDELLI, A. Antimicrobial Activity of *Bacillus amyloliquefaciens* LBM 5006 is Enhanced in the Presence of *Escherichia coli*. *Current Microbiology*, v. 62, n. 3, p. 1017-1022, 2010.

BENKHAYA, S.; M' RABET, S.; EL HARFI, A. A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes. *Inorganic Chemistry Communications*, v. 115, 2020.

BERILLO, D.; AL-JWAID, A.; CAPLIN, J. Polymeric Materials Used for Immobilisation of Bacteria for the Bioremediation of Contaminants in Water, *Polymers*, v. 13, n. 7, 2021.

BILAL, M.; IQBAL, H. M.; SHAH, S. Z. H.; HU, H.; WANG, W.; ZHANG, X. Horseradish peroxidase-assisted approach to decolorize and detoxify dye pollutants in a packed bed bioreactor, *Journal of Environmental Management*, v. 183, p. 836-842, 2016.

BORSAGLI, F. G. L. M.; CIMINELLI, V. S. T.; LADEIRA, C. L.; HAAS, D. J.; LAGE, A. P.; MANSUR, H. S. Multi-functional eco-friendly 3D scaffolds based on *N*-acyl thiolated chitosan for potential adsorption of methyl orange and antibacterial activity Against *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 7, 103286, 2019.

BOSE, R. B.; THILLAICHIDAMBARAM, M.; PAULRAJ, B.; NARAYANAN, K.; GANESAN, N.; MUTHIAH, R. C.; MURUGESAN, R. K. Bio-decolourization of Reactive Blue EFAF using halotolerant *Exiguobacterium profundum* strain CMR2 isolated from salt pan. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, v. 16, p. 98-106, 2018.

BRASIL. Informe Técnico n. 68. GEARE/GGALI/ANVISA. 7 p. 2015.

CHATURVEDI, A.; RAI, B. N.; SINGH, R. S.; JAISWAL, R. P. Comparative toxicity assessment using plant and luminescent bacterial assays after anaerobic treatments of dyeing wastewater in a recirculating fixed bed bioreactor. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 4, p. 105466, 2021.

CHEN, C. H.; WHANG, L. M.; PAN, C. L.; YANG, C. L., LIU, P. W. G. Immobilization of diesel-degrading consortia for bioremediation of diesel-contaminated groundwater and seawater. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 124, p. 62-72, 2017.

CHUNG, K. Azo dyes and human health: A review. *Journal Of Environmental Science and Health, Part C*, v. 34, n. 4, p. 233-261, 16 set. 2016.

CHRISTIE, R. Colour Chemistry, 2. ed., *Royal Society of Chemistry*, 345 p., 2015.

CRISTÓVÃO, R.O., TAVARES, A.P.M., FERREIRA, L.A., LOUREIRO, J.M., BOAVENTURA, R.A.R., MACEDO, E.A. Modeling the discoloration of a mixture of reactive textile dyes by commercial laccase. *Bioresource Technology*, v.100, p. 1094–1099, 2009.

CUI, D.; SHEN, D.; WU, C.; LI, C.; LENG, D.; ZHAO, M. Biodegradation of aniline by a novel bacterial mixed culture AC. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 125, p. 86-96, 2017.

DALLABONA, I. D.; MATHIAS, A. L.; JORGE, R. M. M. A new green floating photocatalyst with Brazilian bentonite into TiO₂/alginate beads for dye removal. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 627, p. 127159, 2021.

DAS, M.; ADHOLEYA, A. Potential Uses of Immobilized Bacteria, Fungi, Algae, and Their Aggregates for Treatment of Organic and Inorganic Pollutants in Wastewater. *Acs Symposium Series*, p. 319-337, 2015.

DAVE, S. R.; DAVE, R. H. Isolation and characterization of *Bacillus thuringiensis* for Acid red 119 dye decolourisation. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 1, p. 249-253, 2009.

DE ALMEIDA, E. J. R.; MAZZEO, D. E. C.; SOMMAGIO, L. R. D.; MARIN-MORALES, M. A.; DE ANDRADE, A. R.; CORSO, C. R. Azo dyes degradation and mutagenicity evaluation with a combination of microbiological and oxidative discoloration treatments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 183, p. 109484, 2019.

DEEPIKA, S.; HARISHKUMAR, R.; DINESH, M.; ABARNA, R.; ANBALAGAN, M.; ROOPAN, S. M.; SELVARAJ, C. I. Photocatalytic degradation of synthetic food dye, sunset yellow FCF (FD&C yellow no. 6) by *Ailanthus excelsa* Roxb. possessing antioxidant and cytotoxic activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, v. 177, p. 44-55, 2017.

DEMAIN, A. L.; DAVIES, J. E., Manual of Industrial Microbiology and Biotechnology, *ASM Press*, Washington, 1999.

DOGAN, N. M.; SENSOY, T.; DOGANLI, G. A.; BOZBEYOGLU, N. N.; ARAR, D.; AKDOGAN, H. A.; CANPOLAT, M. Immobilization of *Lysinibacillus fusiformis* B26 cells in different matrices for use in turquoise blue HFG decolourization. *Archives of Environmental Protection*, v. 42, n. 2, p. 92-99, 2016

DUNLAP, C. Phylogeny and Taxonomy of Agriculturally Important *Bacillus* Species. *Bacilli In Climate Resilient Agriculture And Bioprospecting*, p. 143-150, 2019.

ELTARAHONY, M.; EL-FAKHARANY, E.; ABU-SERIE, M.; ELKADY M.; IBRAHIM, A. Statical modeling of methylene blue degradation by yeast-bacteria consortium; optimization via agro-industrial waste, immobilization and application in real effluents. *Microbial Cell Factories*, v. 20, n. 234, p. 1-26, 2021.

FARAG, S.; BEKHIT, F.; ATTIA, A. M. Bacterial isolation, optimization and immobilization for decolorization and degradation of the azo dye (Basic Red 46). *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*, v. 7, n. 4, p. 1323-1335, 2016.

GALLO, M.; SPERANZA, B.; CORBO, M. R., SINIGAGLIA, M.; BEVILACQUA, A. 2016. Novel Microbial Immobilization Techniques, *Novel Food Fermentation Technologies*, 2016.

GHODAKA, G.; JADHAV, U.; TAMBOLI, D.; KAGALKAR, A.; GOVINDWAR, S. Decolorization of Textile Dyes and Degradation of Mono-Azo Dye Amaranth by *Acinetobacter calcoaceticus* NCIM 2890. *Indian Journal of Microbiology*, v. 51, n. 4, p. 501–508, 2011.

GUO, X.L., DENG, G., XU, J., WANG, M-X. Immobilization of *Rhodococcus* sp. AJ270 in alginate capsules and its application in enantioselective biotransformation of trans-2-methyl-3- phenyl-oxiranecarbonitrile and amide. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 39, n. 1, p. 1-5, 2006.

GUO, X.; XIE, C.; WANG, L.; LI, Q., WANG, Y. Biodegradation of persistent environmental pollutants by *Arthrobacter* sp. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 26, n. 9, p. 8429-8443, 2019.

HAMEED, Basma B.; ISMAIL, Zainab Z. Decolorization, biodegradation and detoxification of reactive red azo dye using non-adapted immobilized mixed cells. *Biochemical Engineering Journal*, v. 137, p. 71-77, 2018.

HAQ, I; RAJ, A.; MARKANDEY, A. Biodegradation of Azure-B dye by *Serratia liquefaciens* and its validation by phytotoxicity, genotoxicity and cytotoxicity studies. *Chemosphere*. 2018.

HUANG, W. E. et al. Rapid characterization of microbial biodegradation pathways by FT-IR spectroscopy. *Journal of Microbiological Methods*, v. 67, n. 2, p. 273–280, 2006

HUANG, D.; HU, C.; ZENG, G.; CHENG, M.; XU, P.; GONG, X.; WANG, R.; XUE, W. Combination of Fenton processes and biotreatment for wastewater treatment and soil remediation. *Science of The Total Environment*, v. 574, p. 1599-1610, 2017.

ISNAWATI; TRIMULYONO, G. Temperature range and degree of acidity growth of isolate of indigenous bacteria on fermented feed “fermege”. *Journal Of Physics: Conference Series*, v. 953, p. 012209, 2018.

KAPOOR, R. T.; DANISH, M.; SINGH, R. S.; RAFATULLAH, M.; KHALIL, H. PS. Exploiting microbial biomass in treating azo dyes contaminated wastewater: Mechanism of degradation and factors affecting microbial efficiency. *Journal of Water Process Engineering*, v. 43, p. 102255, 2021.

KHALED, J. M.; ALYAHYA, S. A.; GOVINDAN, R.; CHELLIAH, C. K.; MARUTHUPANDY, M.; ALHARBI, S.; KADAIKUNNAN, S.; MURUGAN, I. S.; Laccase producing bacteria influenced the high decolorization of textile azo dyes with advanced study. *Environmental Research*, p. 112211, 2021.

KLOSS, J. R.; PEDROZO, T. H.; FOLLMANN, H. D. M.; PERALTA-ZAMORA, P.; DIONÍSIO, J. A.; AKCELRUD, L.; ZAWADZKI, S. F.; RAMOS, L. P. Application of

the principal component analysis method in the biodegradation polyurethanes evaluation. *Materials Science and Engineering: C*, v. 29, n. 2, p. 470–473, 2009.

KULSHRESTHA, S. Genetically Engineered Microorganisms: A Problem-Solving Approach for Bioremediation. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, v. 4, p. 1-2, 2013.

KUMAR, K., DASTIDAR, M.G., SREEKRISHNAN, T.R. Effect of process parameters on aerobic decolourization of reactive azo dye using mixed culture. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, v. 58, p. 962–965, 2009.

KURADE, M. B.; WAGHMODE, T. R.; XIONG, J.; GOVINDWAR, S. P.; JEON, B. Decolorization of textile industry effluent using immobilized consortium cells in upflow fixed bed reactor. *Journal of cleaner production*, v. 213, p. 884-891, 2019.

KVG, R.; DAS, S.; OSBORNE, J. W.; NATARAJAN, C.; MUKHERJEE, A. Novel nano-bio (nano zerovalent iron and *Klebsiella* sp.) composite beads for congo red removal using response surface methodology. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 7, n. 5, p. 103413, 2019.

LEWIS, James S. et al. *Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing*. 32. ed. USA, Clinical and Laboratory Standards, 2022. 362 p.

LIANG, Z.; SHEN, N.; HUANG, H.; CHEN, Y. Evaluating decolorization capacity about alginate encapsulation system of *Shewanella oneidensis* MR-1 mingled with conductive materials. *Environmental Technology & Innovation*, v. 21, p. 101344, 2021.

LI, T.; HUANG, L.; LI, Y.; XU, Z.; GE, X.; ZHANG, Y.; WANG, N.; WANG, S.; YANG, W.; LU, F.; LIU, Y. The heterologous expression, characterization, and application of a novel laccase from *Bacillus velezensis*. *Science of the Total Environment*, v. 713, 2020.

MADHUSHIKA, H. G.; ARIYADASA, T. U.; GUNAWARDENA, S. H. P. Biological decolourization of textile industry wastewater by a developed bacterial consortium. *Water Science and Technology*, v. 80, n. 10, p. 1910-1918, 2020.

MADHAVI, G.N.; MOHINI, D.D. Review paper on – Parameters affecting bioremediation. *International Journal of Life Science and Pharma Research*, v. 2, p. 77-80, 2012.

MARIA, C. Application of FTIR Spectroscopy in Environmental Studies. *Advanced Aspects of Spectroscopy*, 2002.

MARTINS, S. C. S.; MARTINS, C. M.; FIÚZA, L. M. C. G.; SANTAELLA, S. T. Immobilization of microbial cells: a promising tool for treatment of toxic pollutants in industrial wastewater, *African Journal of Biotechnology* v. 12, n. 28 p. 4412–4418, 2013.

MELO, T. A.; DO NASCIMENTO, I. T. V. S.; SERRA, I. M. R. S. The *Bacillus* genus applied to the biological control of plant diseases. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 9, p. 1-22, 2021.

MEHROTRA, T.; DEV, S.; BANERJEE, A.; CHARTTERJEE, A.; SINGH, R.; AGGARWAL, S. Use of immobilized bacteria for environmental bioremediation: a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 5, p. 105920, 2021.

MESSIAS, C. M. B. O.; SOUZA, H. M. S.; REIS, I. R. M. S. Consumption of ultra-processed food and food coloring agents by adolescents from a public school. *Adolescência & Saúde*, Pernambuco, v. 13, n. 4, p. 7-14, 2016.

MISAL, S. A.; LINGOJWAR, D. P.; SHINDE, R. M.; GAWAI, K. R. Purification and characterization of azoreductase from alkaliphilic strain *Bacillus badius*, *Process Biochemistry*, v. 46, p. 1264-1269, 2011.

MISAL, S. A.; GAWAI, K. R. Azoreductase: a key player of xenobiotic metabolism. *Bioresources And Bioprocessing*, v. 5, n. 1, p. 1-9, 2018.

MORSY, S. A. G. Z.; TAJUDIN, A. A.; MOHD, S. M. A.; SHARIFF, F. M. Current Development in Decolorization of Synthetic Dyes by Immobilized Laccases. *Frontiers in Microbiology*, v. 11, 2020.

MOTTA, C. M.; SIMONIELLO, P.; ARENA, C.; CAPRIELLO, T.; PANZUTO, R.; VITALE, E.; AGNIISOLA, C.; TIZZANO, M.; AVALLONE, B. FERRANDINO, I. Effects of four food dyes on development of three model species, *Cucumis sativus*, *Artemia salina* and *Danio rerio*: Assessment of potential risk for the environment. *Environmental Pollution*, Naples, v. 253, p. 1126-1135, 2019.

MPOUNTOUKAS, P.; PANTAZAKI, A.; KOSTARELI, E.; CHRISTODOULOU, P.; KARELI, D.; POLILIOU, S.; MOURELATOS, C.; LAMBROPOULOU, V.; LIALIARIS, T. Cytogenetic evaluation and DNA interaction studies of the food colorants amaranth, erythrosine and tartrazine. *Food And Chemical Toxicology*, v. 48, n. 10, p. 2934-2944, 2010.

MÜLLER, J. M., SANTOS, R. L., BRIGIDO, R. V. Produção de alginato por micro-organismos. *Polymers*, v. 21, n. 4, p. 305-310, 2011.

NAZARI, N.; KASHI, F. J. A novel microbial synthesis of silver nanoparticles: Its bioactivity, Ag/ Ca-Alg beads as an effective catalyst for decolorization Disperse Blue 183 from textile industry effluent. *Separation and Purification Technology*, v. 259, p. 118117, 2020.

NIKOLAJEVA, V.; ZOMMERE, Ž. Immobilization of bacterial association in alginate beads for bioremediation of oil-contaminated lands. *Environmental and Experimental Biology*, v. 15, p. 105-111, 2017.

PANDEY, A.; SINGH, P.; IVENGAR, L. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. *International Biodeterioration and Biodegradation*, v. 59, p.73–84, 2007.

PARTE, A.C., SARDÀ CARBASSE, J., MEIER-KOLTHOFF, J.P., REIMER, L.C. AND GÖKER, M. List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature (LPSN) moves to the DSMZ. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, v. 70, p. 5607-5612, 2020.

PATEL, Y.; GUPTE, A. Biological Treatment of Textile Dyes by Agar-Agar Immobilized Consortium in a Packed Bed Reactor. *Water Environment Research*, v. 87, n. 3, p. 242-251, 2015.

POPADIĆ, Marko G. et al. A novel approach in revealing mechanisms and particular step predictors of pH dependent tartrazine catalytic degradation in presence of Oxone. *Chemosphere*, v. 281, p. 130806, 2021.

RAVAL, N. P.; SHAH, P. U.; SHAH, N. K. Adsorptive amputation of hazardous azo dye Congo red from wastewater: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, p. 1-44, 2016.

RIBEIRO, V. R.; OSÓRIO, H. D. D.; ULRICH, A. C.; RIZZETTI, T. M.; BARRIOS, A. S.; SCHNEODER, R.C.; BENITEZ, L. B. The use of microalgae-microbial fuel cells in wastewater bioremediation and bioelectricity generation. *Journal of Water Process Engineering*, v. 48, 2022.

ROY, U.; SENGUPTA, S.; DAS, P.; BHOWAL, A.; DATTA, S. Integral approach of sorption coupled with biodegradation for treatment of azo dye using *Pseudomonas* sp.: batch, toxicity, and artificial neural network. *3 Biotech*, v. 8, n. 192, p. 191-201, 2018.

SABARUDDIN, M.F.; NOR, M.D.M.; MUBARAK, M.F.M.; RASHID, N.A.A.R.; FAR, C. G.; YOUICHI, S.; IBRAHIM, N. Biodecolourisation of acid red 27 Dye by *Citrobacter freundii* A1 and *Enterococcus casseliflavus* C1 bacterial consortium. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, v. 14, n. 2, 2018.

SAMSAMI, S.; MOHAMADIZANIANI, M.; SARRAFZADEH, H.; RENEM E. R.; FIROOZBAHR, M. Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: Overview and perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 143, p. 138-163, 2020.

SARATALE, R.G., SARATALE, G.D., CHANG, J.S., GOVINDWAR, S.P. Decolorization and Biodegradation of Textile Dye Navy Blue HER by *Trichosporon beigelii* NCIM-3326. *Journal of Hazardous Materials*, v. 166, Issues 2–3, p. 1421–1428, 2009.

SARATALE, R. G.; SARATALE, G. D.; CHANG, J. S.; GOVINDWAR, S. P. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes: A review. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 42, n. 1, p. 138-157, 2011.

SARAVANAN, A.; KUMAR, P. S.; VO, D. N.; JEEYANANTHAM, S.; KARISHMA, S.; YAASHIKAA, P. R. A review on catalytic-enzyme degradation of toxic environmental pollutants: Microbial enzymes. *Journal of Hazardous Materials*, p. 126451, 2021.

- SCHMIDT, C.; BERGHAHN, E.; ILHA, V.; GRANADA, C. E. Biodegradation potential of *Citrobacter* cultures for the removal of amaranth and congo red azo dyes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 16, p. 6863–6872, 2019.
- SHABBIR, S.; FAHEEM, M.; ALI, N.; KERR, P. G.; WU, Y.. Evaluating role of immobilized periphyton in bioremediation of azo dye amaranth. *Bioresource Technology*, v. 225, p. 395-401, 2017.
- SHANMUGAM, B. K.; EASWARAN, S. N.; MOHANAKRISHNAN, A. S.; KALYANARAMAN, C.; MAHADEVAN, S. Biodegradation of tannery dye effluent using Fenton's reagent and bacterial consortium: a biocalorimetric investigation. *Journal of Environmental Management*, v. 242, p. 106-113, 2019.
- SHARMA, S. C. D.; SUN, Q.; LI, J.; WANG, Y.; SUANON, F.; YANG, J.; YU, C. Decolorization of azo dye methyl red by suspended and co-immobilized bacterial cells with mediators anthraquinone-2, 6-disulfonate and Fe₃O₄ nanoparticles. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 112, p. 88-97, 2016.
- SMIDT, E.; MEISSEL, K. The applicability of Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy in waste management. *Waste Management*, v. 27, n. 2, p. 268–276, 2007.
- TALHA, M. A.; GOSWAMI, M.; GIRI, B. S.; SHARMA, A.; RAI, B. N.; SINGH, R. S. Bioremediation of Congo red dye in immobilized batch and continuous packed bed bioreactor by *Brevibacillus parabrevis* using coconut shell bio-char. *Bioresource Technology*, v. 252, p. 37-43, 2018.
- THAO, T. P.; KAO, H.; JUANG, R.; LAN, J. C. Kinetic characteristics of biodegradation of methyl orange by *Pseudomonas putida* mt2 in suspended and immobilized cell systems. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 44, n. 5, p. 780-785, 2013.
- TONINI, R. M. C. W.; REZENDE, C. E.; GRATIVOL, A. D. Bacterial degradation and biorremediation of petroleum compounds: A review. *Oecologia Australis*, v. 14, p. 1025-1035, 2010
- TUTTOLOMONDO, M.V.; ALVAREZ, G. S.; DESIMONE, M. F.; DIAZ, L. E. Removal of azo dyes from water by sol–gel immobilized *Pseudomonas* sp. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 2, n. 1, p. 131-136, 2014.
- UPENDAR, G., Dutta, S., Bhattacharya, P., & Dutta, A. Bioremediation of methylene blue dye using *Bacillus subtilis* MTCC 441. *Water Science and Technology*, v. 75, n. 7, p. 1572–1583, 2017.
- UNNIKRISHNAN, S.; KHAN, M. H.; RAMALINGAM, K. Dye-tolerant marine *Acinetobacter baumannii*-mediated biodegradation of reactive red. *Water Science and Engineering*, v. 11, n. 4, p. 265-275, 2018.

VAN DER ZEE; F. P.; CERVANTES, F. J. Impact and application of electron shuttles on the redox (bio) transformation of contaminants: a review. *Biotechnology Advances*, v. 27, p. 256-277, 2009.

VANTAMURI, A. B.; SHETTAR, A. K. Biodegradation of Diazo Reactive dye (Green HE4BD) by *Marasmius* sp. BBKAV79. *Chemical Data Collections*, p.100422, 2020.

VERMA, A.; PAL, Y.; OJHA, A. K.; KUMARI, M.; KHATRI, I.; M.; RAMESHKUMAR, N.; SCHUMANN, P.; DASTAGER, S. G.; MAYILRAJ, S.; SUBRAMANIAN., S.; KRISHNAMURTHI, S. Taxonomic insights into the phylogeny of *Bacillus badius* and proposal for its reclassification to the genus *Pseudobacillus* as *Pseudobacillus badius* comb. nov. and reclassification of *Bacillus wudalianchiensis*. *Systematic and Applied Microbiology*, v. 42, p. 360–372, 2019.

VIKRANT, K.; GIRI, B. S.; RAZA, N.; ROY, K.; KIM, K.; RAI, B. N.; SINGH, R. S. Recent advancements in bioremediation of dye: current status and challenges. *Bioresource technology*, v. 253, p. 355-367, 2018.

WADHWANI, S. A.; SHEDBALKAR, U. U.; NADHE, S.; SINGH, R.; CHOPADE, B. A. Decolorization of textile dyes by combination of gold nanocatalysts obtained from *Acinetobacter* sp. SW30 and NaBH₄. *Environmental Technology & Innovation*, v. 9, p. 186-197, 2018.

WIN, T. T.; SWE, T. M.; EI, H. H.; WIN, N. N.; SWE, K. K.; NANDAR, W.; KO, T. K.; FU, P. Na evaluation into the biosorption and biodegradation of azo dyes by indigenous siderophores-producing bacteria immobilized in chitosan. *Biodegradation*, v. 32, p. 697-710, 2021

WINDER, C. L., et al. Metabolic fingerprinting as a tool to monitor whole-cell biotransformations. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, v. 17, n. 1, p. 387–401, 2010.

XU, B.; CHENG, S.; HAN, M.; LI, Q.; CHEN, W.; ZHOU, W, The characteristic and performance of reduced graphene oxide by marine bacterium *Pseudoalteromonas* sp. CF10-13. *Ceramics International*, v. 46, p. 21699-21706, 2020.

YU, L.; ZHANG, X. Y.; TANG, Q. W.; LI, J.; XIE, T.; LIU, C.; CAO, M. Y.; ZHANG, R. C.; WANG, S.; HU, J. M.; QIAO, W. C.; LI, W. W.; RUAN, H. H. Decolorization characteristics of a newly isolated salt-tolerant *Bacillus* sp. strain and its application for azo dye-containing wastewater in immobilized form. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 99, n. 21, p. 9277-9287, 2015.

YU, L.; WANG, P.; XU, Q.; HE, T.; ODURO, G.; LU, Y. Enhanced decolorization of methyl orange by *Bacillus* sp. strain with magnetic humic acid nanoparticles under high salt conditions. *Bioresource technology*, v. 288,121535, 2019.

ZHANG, B.; NI, Y. LIU, J.; YAN, T.; ZHU, X.; LI, Q. X.; HUA, R.; DANDAN, P.; WU, X. Bead-immobilized *Pseudomonas stutzeri* Y2 prolongs functions to degrade s-triazine herbicides in industrial wastewater and maize fields. *Science of The Total Environment*, v. 731, p. 139-183, 2020.

ZHANG, J.; CAO, R.; SONG, W.; LIU, L.; LI, J. One-step method to prepare core-shell magnetic nanocomposite encapsulating silver nanoparticles with superior catalytic and antibacterial activity. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 607, p. 1730-1740, 2022.

ZHOU, Y.; LU, H.; WANG, J.; ZHOU, J.; LENG, X.; LIU, G. Catalytic performance of quinone and graphene-modified polyurethane foam on the decolorization of azo dye Acid Red 18 by *Shewanella* sp. RQs-106. *Journal of Hazardous Materials*, v. 356, p. 82-90, 2018.

ZHU, Y.; WANG, W.; NI, J.; HU, B. Cultivation of granules containing anaerobic decolorization and aerobic degradation cultures for the complete mineralization of azo dyes in wastewater. *Chemosphere*, v. 246, p. 125753, 2020.